[PR] NUMO

地形に残る地震の痕跡、地下深部での揺れの特徴。地震の多い日本で、地層処分を考える。



私たちが普段見ている崖や谷には、遠い過去の地震や地殻変動の痕跡が残されていることがあります。地表には地震の影響が強く表れる一方で、岩盤内に造られるトンネルなどの地下構造物は大きな地震でも一部の損傷にとどまった例が数多くあります。

以前の記事で紹介した、原子力発電に伴い発生する高レベル放射性廃棄物。その処分方法として、「地層処分」が国際的に最も安全で実現可能な方法とされています。

地震が多い日本で、本当に地層処分が可能なのでしょうか。専門家のNUMO（原子力発電環境整備機構）技術部調査技術第一グループの佐々木さん、技術部工学技術グループの藤田さんに話を聞きました。



NUMO　技術部　調査技術第一グループ

佐々木さん

北海道出身。小学生のとき、旅行先で火山に興味を持ち、大学では地球科学を専攻。授業で地層処分の問題を知り、「他人事ではない」と関心を深めた。現在は技術部調査技術第一グループに所属し、佐賀県玄海町と東京都南鳥島の文献調査に携わっている。



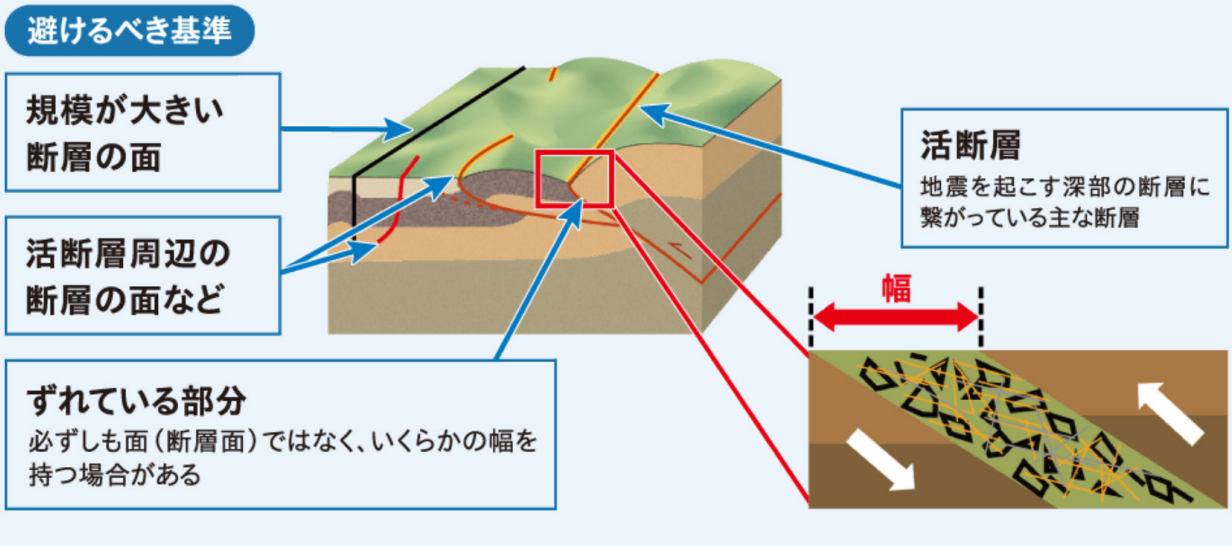
Q 地震の多い日本で、地層処分に適した場所を見つけられるんですか？



過去の地震そのものを見ることはできませんが、地震が残した痕跡は、今も地形や地層の中に残っています。

例えば、2016年の熊本地震では、田んぼが約2メートルずれた場所がありました。1995年の阪神・淡路大震災でも、淡路島の野島断層で地面が大きくずれ、その様子が現在も保存・公開されています。なお、このような「ずれ」のことを「断層」と呼びますが、地層処分は、この断層活動の影響を受けない場所で行う必要があります。

そこで、「活断層」の位置を把握し、その場所を避けるという対策を取ります。



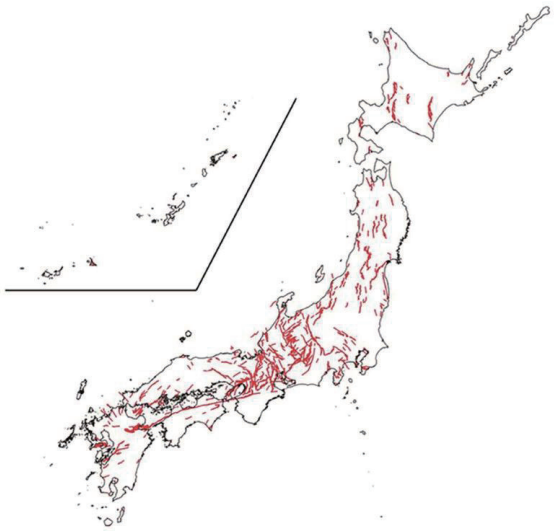
Q 「活断層」とは何ですか。



一度動いた断層は、その面が周囲よりもずれやすくなるため、再び力が加わると同じ場所が動きやすくなります。何万年、何十万年という長い時間の中で、同じ場所が繰り返し動くのが活断層の特徴です。

活断層が繰り返し活動すると、その影響は地形にも少しずつ刻まれていきます。私たちが見ている地形は、地球で起きた出来事の結果なんです。

ただし、断層が常にはっきりと地表に現れているとは限りません。そこで、地形や地層に残された痕跡と、その痕跡を手掛かりとしたさまざまな調査の結果を照らし合わせ、地表からは見えない活断層の位置や影響範囲も可能な限り把握します。



活断層とは

過去数十万年前以降に繰り返し活動し、将来も活動する可能性のある断層のこと

既にある断層が岩盤の中で最も弱い場所となり、同じ断層が繰り返し活動する傾向があります。

活断層の影響範囲とは

断層周辺の岩盤の破壊や変形が生じている領域、ならびに将来、断層が伸展したり分岐する可能性がある領域のこと

出典：活断層データベース（産業技術総合研究所）https://gbank.gsj.jp/activefault/

Q 断層が将来伸びたり枝分かれしたりする可能性まで、分かるんですか？



一番大切なのは、一つの情報だけで判断しないことです。

将来のことをすべて正確に予測できるわけではありません。だからこそ、過去に断層がどこで、どのように活動してきたのかを、できるだけ詳しく調べることが重要になります。

まずは、過去の論文や地質図、航空写真など、公開されている情報を集めます。そのうえで、地形判読など、多くの資料やデータを使った机上での調査を行います。さらに、地表踏査や物理探査、ボーリング調査、トレンチ調査（※）といった現地調査を組み合わせ、地下の状況を確認していきます。

それぞれの調査には、得意なこともあれば限界もあります。だから一つの結果だけで結論を出すのではなく、複数の情報を照らし合わせながら、断層の位置や過去の活動の傾向を把握していくのです。

こうした調査を重ねることで、将来、断層が伸びたり枝分かれしたりする可能性のある場所を推定します。そして、将来にわたって断層活動による著しい影響が考えられる場所を避けて、地層処分場を建設します。

私たちが目指しているのは、未来を言い当てることではありません。過去の痕跡を読み解き、断層活動の影響が考えられる場所を可能な限り抽出すること。その積み重ねが、未来を慎重に評価することにつながるんです。

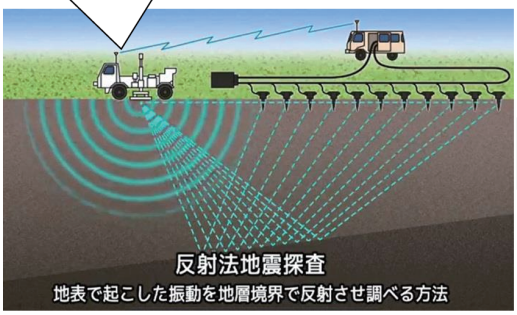
●地表から物理探査で地下の断層の分布を確認した例

奈良盆地東縁断層帯の帯解（おびとけ）断層の事例

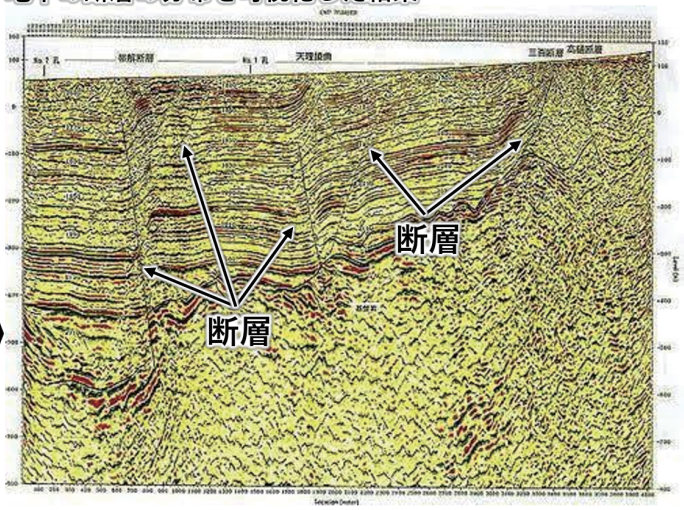
人工的に揺れを発生させる車の例



写真提供：株式会社地球科学総合研究所



地中の断層の分布を可視化した結果



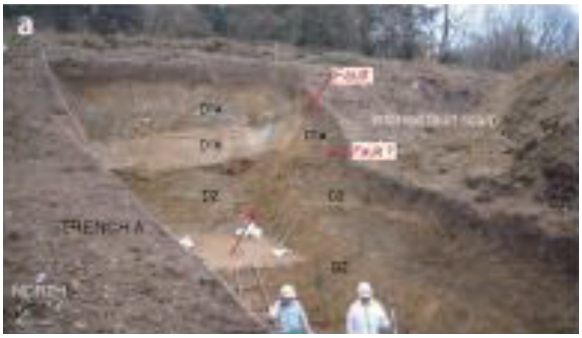
出展：産業技術総合研究所　地質調査総合センターウェブサイト
https://www.gsj.jp/publications/actfault-eq/h8seika.html#nara

ボーリング調査



電力中央研究所との共同研究

トレンチ調査



出典：遠田晋次，小俣雅志，郡谷順英（2009）：
糸魚川－静岡構造線活断層系松本盆地東縁断層群中央部の
古地震調査，活断層・古地震研究報告，No.9，pp.261-277



NUMO　技術部　工学技術グループ

藤田さん

青森県出身。大学では地学を専攻し、博士課程、ポスドクを経てNUMOへ入構。現在は技術部工学技術グループに所属し、主に緩衝材の設計や、自然界の現象から地層処分の長期的な安全性を考える「ナチュラルアナログ」に関するプロジェクトを担当している。



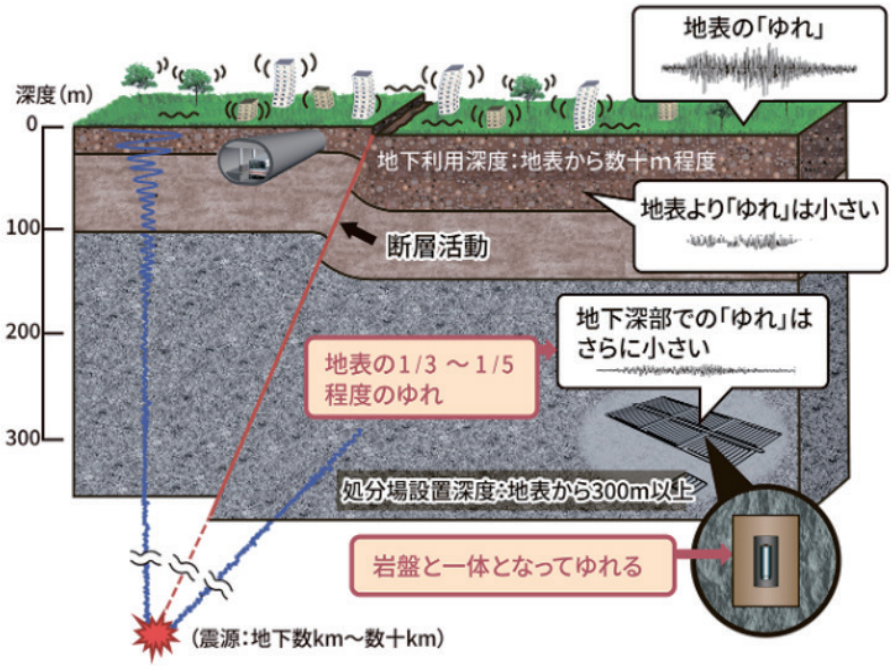
Q 地下深部は、地震の時に大きく揺れませんか？



地震の波は地下の震源から地表に向かって伝わるため、地下深部でも揺れは生じます。ただし、地上と地下深部では地盤の状態が異なるため、同じ地震でも揺れ方は同じではありません。

地表付近の地盤は地下深部の岩盤より柔らかいため、地下から伝わってきた地震の揺れが増幅され、大きくなります。

一方、地下深部では、周辺の岩盤が硬いため、地表付近のように揺れが大きくなりにくく、地表の3分の1から5分の1程度になることが過去の観測データの傾向から分かっています。



Q 地上で大きな揺れがあっても、地層処分場は大丈夫なんですか？



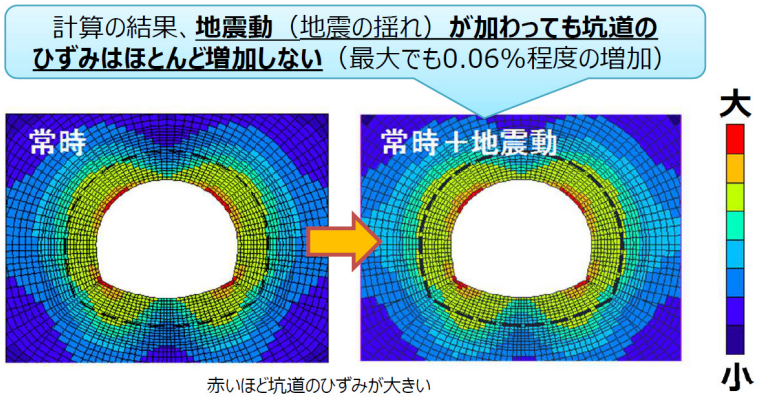
これまで日本では、大きな地震が何度も発生してきました。その際、岩盤内に掘削したトンネルなどの地下構造物で、壁や天井の一部にひび割れなどが生じた例はありますが、地上の建物のように広い範囲にわたって大きな被害が生じた事例は、ほとんど確認されていません。

この差を生むのが、地上と地下の「揺れ方の違い」です。地上の建物は、基礎部分は地面に固定されていますが、上部は周囲に支えられていません。そのため、地面が激しく揺れると、建物の上部が大きく振られます。一方、岩盤内の地下構造物は周囲の岩盤と一体になって動くため、地上の建物に比べて大きく変形しにくいのです。

地下300メートルより深い岩盤に建設される地層処分場も、地震の揺れ自体が小さくなることと、周囲を岩盤に囲まれている点が地下構造物と共通しています。なお、廃棄物を収めた容器の周囲には、粘土を主成分とする緩衝材を設置し、坑道も掘削土などを使って埋め戻します。こうした地下の特性や設計の工夫により、地層処分場が地震の揺れによって破壊される可能性は非常に低いと考えています。

こちらは、東日本大震災時の揺れを再現し、地下の坑道（埋戻し前の状態）に生じるひずみを解析した結果です。地下深部では周囲からの地圧によって常にひずみが発生しています。これに、地震の揺れによる力が加わっても、坑道に生じるひずみにはほとんど変化がありません。

坑道にかかる圧力、地震力によるひずみを示した断面図



出典：NUMO-TR-14-02
https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr14_02pdf/TR-14-02.pdf

Q 地層処分場が本当に地震で壊れにくいのか、どう見極めるんですか？



地層処分場に与える地震の影響については、活断層の調査と同様、一つの情報だけで判断するのではなく、できるだけ多くの情報を集めて総合的に判断します。

まず、過去の地震の履歴などから、地下で想定される地震動を設定します。また、地下深くの岩盤の硬さや地震波の伝わりやすさなどの特性については、現地調査に加え、地震観測（日常的に生じる微小な揺れから実際の地震までを継続的に観測）を行い、把握します。

次に、得られたデータをもとに、強い地震が起きた際に地下の施設やその周りの岩盤がどのように揺れたり変形したりするのかを、コンピュータによるシミュレーションで確認します。その際、一つの解析結果だけで結論を出すのではなく、複数のシミュレーション結果と実際の観測データを照らし合わせ、矛盾がないかを一つひとつ丁寧に確認していきます。

私たちが知りたいのは、「揺れるか、揺れないか」ということだけではありません。地下で何が起こり得るのかを把握し、どのような影響が及ぶのか、その影響にどう対策するのかを考えること。それが、その場所を評価し、地層処分場を設計するうえで非常に大切なことなんです。



私たちは崖を見れば景色と感じ、トンネルを見れば構造物だと思います。でも、専門家はその向こう側を見ています。

地形に残された痕跡から過去の断層活動を読み解き、地下では岩盤や施設がどのように揺れるのかを確かめる。お二人に共通していたのは、一つの情報や解析結果だけで判断しないという姿勢でした。

目に見える地形も、直接見ることのできない地下も、さまざまな調査やデータを重ね合わせ、分からないことを一つずつ確かめていく。その積み重ねが、地震の多い日本で地層処分を考えるための土台になっています。

（※）

・地表踏査…地表面において、地層や岩石の分布や性状、地質構造、温泉や湧水・地下水（井戸）の性状、活断層の分布や性状等を調べる方法

・物理探査…人工的に発生させた地震波や電磁波等を利用して、空中や地表、水上、水中から、地質構造や地質性状を間接的に調べる方法

・ボーリング調査…地表や水上から地中に直径数cm～数十cmの円筒状の孔を掘り、採取した岩石試料や孔を用いた各種の計測により、地層や岩体などの分布や性状、地下水の流れ方や通しにくさ、水質、岩盤中の温度、岩盤の変形しにくさなどを調べる方法

・トレンチ調査…活断層の既往歴を調査するために、断層線を横切る方向に細長い溝を掘り、断層のずれかたや地層の年代を測定して、断層の動いた年代などを調べる方法